# Составление уравнений реакций горения на воздухе

## 1.1 Состав воздуха

Горением называется сложный физико-химический процесс, представляющий со­бой окислительно-восстановительную реакцию между горючим веществом и окислите­лем, сопровождающийся выделением тепла и излучением света. Для горения необходимо наличие трёх составляющих: горючего вещества, окислителя (кислород воздуха, озон, пе­рекись водорода, галогены, перманганат калия, хромовый ангидрид и т. д.), и благоприят­ствующего фактора (источник зажигания; физико-химический или биологический про­цесс, протекающий с выделением тепла, нагретая поверхность). С точки зрения электрон­ной теории, горение – это перераспределение валентных электронов между горючим ве­ществом и окислителем. Горючим веществом называется вещество, атомы (молекулы) ко­торого способны отдавать в процессе реакции свои валентные электроны. Горючее веще­ство в процессе реакции окисляется, образуя продукты окисления. Окислителем называ­ется вещество, атомы (молекулы) которого способны присоединять валентные электроны в процессе реакции. Окислитель в ходе реакции восстанавливается. В условиях пожара горение чаще всего протекает в среде воздуха. При составлении уравнения материального баланса процессов горения принято учитывать не только кислород, принимающий участие в реакции окисления, но и азот, входящий в состав воздуха. Воздух состоит из азота, кис­лорода, водорода, углекислого газа и инертных газов. При ведении теоретических расчётов во­дород, углекислый газ и инертные газы (их вместе взятых в воздухе около 1 %) причис­ляют к азоту, которого в воздухе 78 %. Поэтому можно принять, что воздух состоит из 21 % кислорода и 79 % азота. Таким образом, объёмное (и мольное) соотношение азота и кис­лорода в воздухе составит

,

где ,  - содержание азота и кислорода в объёмных процентах в окислитель­ной среде. Следовательно, на 1 м3 (1 кмоль) кислорода, в воздухе приходится 3,76 м3 (3,76 кмоль) азота. При составлении уравнений реакций горения веществ на воздухе состав воз­духа передают формулой *(O2 + 3,76N2)*.

## 1.2 Запись уравнений горения веществ на воздухе

Обобщённая запись брутто-уравнения материального баланса реакции горения имеет вид:



где -стехиометрические коэффициенты при горючем, окислителе и продуктах горения соответственно, *N* – общее число продуктов горения. В технических расчётах принято, чтобы коэффициент при горючем был равен единице, тогда уравнение (1.2) принимает следующий вид



Коэффициент при окислителе принято обозначать . Он, как и коэффициенты при продуктах горения, может быть в этом случае дробным. Чаще всего горение происходит под действием кислорода, содержащегося в воздухе. При составлении уравнения материального баланса процессов горения принято учитывать не только кислород, принимающий участие в реакции окисления, но и азот, входящий в состав воздуха. В реакции горения принимает участие только кислород. Азот в реакцию не вступает и выделяется из зоны горения вместе с продуктами горения. Таким образом, уравнение горения вещества на воздухе принимает вид

,

где . Азот, входивший в состав воздуха, учитывается отдельно от остальных продуктов реакции. При записи уравнений материального баланса принимается, что происходит полное сгорание вещества, и элементы, входящие в состав горючего, переходят в наиболее устойчивые оксиды, или другую устойчивую при данных условиях форму. Кислород из состава горючего переходит в состав оксидов – продуктов реакции. При большом содержании кислорода в составе молекулы его вполне может хватить для полного окисления всех остальных элементов. В этом случае внешнего кислорода может не понадобится (т.е. коэффициент при воздухе будет равен нулю) или даже часть кислорода может выделиться в свободном состоянии в виде молекул *О2*. Такая ситуация характерна главным образом для разложения взрывчатых веществ.

При большом избытке галогена в составе горючего и нехватке водорода в свободном состоянии в виде молекул *X2* может выделяться и галоген. Под символом *X* в таблице понимаются элементы-галогены (главная подгруппа VII группы периодической системы), т.е. *F, Cl, Br, I*.

В табл. 1-1 даны возможные продукты сгорания.

Табл. 1‑1 Состав горючих и продуктов горения.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Элемент в составе горючего | Число атомов элемента в составе горючего | Продукт горения | Коэффициент при продукте горения |
| C | *nC* | *CO2* |  |
| H | *nH* | *H2O (пар)* |  |
| N | *nN* | *N2* |  |
| P | *nP* | *P2O5* |  |
| S | *nS* | *SO2* |  |
| X | *nX* | *HX* |  |
| O | *nO* | *-* | - |

Коэффициент *β* подсчитывается исходя из состава продуктов горения и состава горючего. При подсчёте коэффициента при воздухе нужно учесть количество атомов кислорода в составе горючего, которые тоже принимают участие в реакции.

.

**Пример 1**: *Составить уравнение реакции горения пропилового спирта С3H8O на воздухе.*

В состав молекулы пропилового спирта входят углерод, водород и кислород, продуктами реакции будут углекислый газ *CO2* и водяной пар *H2O*.

.

Исходя из формулы горючего, определяем количества продуктов реакции  и . По количествам продуктов реакции определяем коэффициент при воздухе . Уравнение реакции принимает вид

.

**Пример 2:** *Составить уравнение реакции горения метиламина CH3NH2 на воздухе.*

В состав метиламина входят углерод, водород и азот, следовательно, продуктами реакции будут углекислый газ, водяной пар и свободный азот.

.

Азот, получающийся при горении вещества, записывается отдельно от азота, входившего в состав воздуха. Коэффициенты при продуктах реакции находим в соответствии с табл. 1-1: ,  и . Коэффициент при воздухе определяется по формуле (1.5) . Итоговое уравнение реакции



**Пример 3:***Составить уравнение реакции горения дихлорэтана C2H4Cl2 на воздухе.*

По составу вещества определяем состав продуктов горения *CO2. H2O* и *HCl.* Количества продуктов горения составят , , . Коэффициент при воздухе составит  и уравнение примет вид



**Пример 4:** *Составить уравнение разложения нитроглицерина C3H5N3O9.*

Продуктами реакции будут углекислый газ , водяной пар  и свободный азот . При подсчёте коэффициента при воздухе получим . Получение отрицательного значения для коэффициента при воздухе свидетельствует о том, что кислород воздуха в реакции не участвует, наоборот, избыточный кислород из состава молекулы выделяется в форме молекул *О2*. Их количество равно модулю *β*. Таким образом, уравнение разложения нитроглицерина будет



## 1.3 Задачи для самостоятельного решения

Составить уравнения реакций горения горючих веществ в воздухе и рассчитать стехиометрические коэффициенты.

**1.1.** амилбензол *C6H5C5H11* , аллиламин *CH2CHCH2NH2*;

**1.2.** амилдифенил *C6H5C6H4C5H11*, аллилизотиоцианат *CH2CHCH*2*NSC*;

**1.3.** амилен *C5H10*, акриловая кислота *CH2CHCO2H*;

**1.4.** амилнафталин *C10H7C5H11*, аллилацетат *CH2CHCH2OC(O)CH3*;

**1.5.** амилбензол *C6H5C5H11*, амиламин *C5H11NH2*;

**1.6.** антрацен *C14H10*, амилнитрат *C5H11ONO2*;

**1.7.** аллиловьiй спирт *CH2CHCH2OH*, амилнитрит C5H11ONO;

**1.8.** ацетилен *C2H2*, амилсульфид *(C5H11)2S*;

**1.9.** бензол *C6H6*, этилбутират *C3H8CO2C2H5*;

**1.10.** бутилбензол *C6H5C4H9*, хлорметилнафталин *C10H7CH2Cl*;

**1.11.** бутилциклогексан *C6H11C4H9*, метилэтилкетон *CH3COC2H5*;

**1.12.** бутилциклопентан C5H9C4H9, амилметилкетон CH3COC5H11;

**1.13.** гексадекан *C16H34*, аминоуксусная кислота *H2NCH2CO2H*;

**1.14.** гексан *C6H12*, этилсалицилат *C6H4(OH)CO2C2H5*;

**1.15.** гексилциклопентан *C5H11C6H11*, аминоциклогексан *C6H11NH2*;

**1.16.** гептадекан *C17H36*, фенилметиловый эфир *C6H5OCH3*;

**1.17.** гептан *С7H16*, этилфениловый эфир *C6H5OC2H5*;

**1.18.** декан *C10H22*, анилин *C6H5NH2*;

**1.19.** диамилбензол *C6H4(NH2)2*, анизол *C6H5OCH3*;

**1.20.** амилнафталин *C10H7C5H11*, ацеталь *CH3CH(OH)2*;

**1.21.** дивинилацетилен *CH2CHCCCHCH2*, ацетальдегид *CH3CHO*;

**1.22.** дигидроциклопентадиен *C5H8*, ацетилацетон *CH3COCH2COCH3*;

**1.23.** изобутилен CH2C(CH3)2, ацетилхлорид *CH3COCl*;

**1.24.** диизопропилбензол *C6H4(CH(CH3)2)2*, ацетанилид *CH3CONHC6H5*;

**1.25.** диметиленциклобутан *CH2C(CH2)2CCH2*, ацетонитрил *CH3CN*;

**1.26.** ацетон *CH3COCH3*, ацетоксим *CH3C(NOH)CH3*;

**1.27.** дифенил *(C6H5)2*, ацетонилацетон *CH3CO(CH2)2COCH3*

**1.28.** дифенилметан *(C6H5)2CH2*, бензамид *C6H5CONH2*;

**1.29.** ацетоуксусный эфир *CH3COCH2CO2C2H5*, бензилдиэтиламин

*C6H5CH2N(C2H5)2*;

**1.30.** ацетофенон *CH3COC6H5*, бензилтиол *C6H5CH2SH*;